



TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DEL APROVECHAMIENTO FORESTAL EN EL SALTO, DURANGO, MÉXICO

TIMBER HARVESTING TIMES AND PRODUCTIVITY IN EL SALTO, DURANGO, MEXICO

Juan Abel Nájera-Luna¹, Oscar A. Aguirre-Calderón², Eduardo J. Treviño-Garza², Javier Jiménez-Pérez² y Enrique Jurado-Ybarra².¹

¹Programa de Doctorado en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales.

²Profesor-Investigador. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional km 145. A. P. 41. Linares, Nuevo León, MÉXICO.

C. P. 67700. Teléfono (821) 212 42 51. Correo-e: jalnajera@yahoo.com.mx.

RESUMEN

Se analizaron las operaciones de aprovechamiento forestal en cuatro ejidos de la región de El Salto, Durango, México, mediante un estudio de tiempos y movimientos para conocer la productividad operacional en los procesos de apeo o derribo manual, desrame, troceo, arrastre y carga mecanizados. Se utilizaron los cronometrajes de 704 ciclos de derribo, 900 de arrastre mecanizado y 1,294 de carga mecanizada. Los resultados indicaron que el rendimiento operacional en el ciclo de derribo es de 28.67 m³·h⁻¹. El arrastre con grúa se estableció en 19.83 m³·h⁻¹ y una distancia promedio de 43.13 m. El rendimiento en la carga mecanizada fue de 35.27 m³·h⁻¹. Los rendimientos mostraron ser sensibles a las variaciones en el diámetro y el largo de los árboles y trozas, así como a las distancias encontradas en los ciclos de trabajo analizados.

Recibido: 18 de mayo, 2010
Aceptado: 16 de agosto, 2010
doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.05.031
[http:// www.chapingo.mx/revistas](http://www.chapingo.mx/revistas)

PALABRAS CLAVE: Derribo, arrastre, carga, ergonomía.

ABSTRACT

Timber harvesting operations in four ejidos in the El Salto region of Durango, Mexico, were analyzed using a time and motion study to determine the operational productivity of manual felling, delimiting, bucking, skidding and mechanized loading. A total of 704 cycles for felling, 900 for mechanical skidding and 1,294 for mechanical loading were timed. The results indicate that the operational productivity in the manual felling cycle is 28.67 m³·h⁻¹. Crane skidding was 19.83 m³·h⁻¹ at an average distance of 43.13 m. Mechanized loading productivity was 35.27 m³·h⁻¹. Productivity was shown to be sensitive to variations in the diameter and length of the trees and logs, as well as the distances found in the work cycles analyzed.

KEY WORDS: Felling, skidding, loading, ergonomics.

INTRODUCCIÓN

Las operaciones de aprovechamiento forestal, por ser un conjunto de actividades complejas, requieren de una buena planeación, puesto que existen factores biológicos, ambientales, técnicos, humanos y económicos que las afectan directa e indirectamente (Lopes *et al.*, 1999, citado por De Oliveira *et al.*, 2006). El estudio del trabajo brinda herramientas y métodos para evaluar cuantitativa y cualitativamente los rendimientos y esquemas alternativos de organización en las actividades de aprovechamiento forestal, ya que el tiempo consumido por cada uno de los elementos de los ciclos de trabajo, permite estimar la productividad y costos por unidad de producción en relación

INTRODUCTION

Logging operations, by being a set of complex activities, require good planning because there are biological, environmental, technical, human and economic factors that affect them directly and indirectly (Lopes *et al.*, 1999, cited by De Oliveira *et al.*, 2006). Work study provides tools and methods to quantitatively and qualitatively assess productivity and alternative organizational schemes in timber harvesting activities, since the time consumed by each work cycle element allows estimating productivity and unit costs of production in relation to certain relevant factors in combination with ergonomic measures and the human effort required for each of these activities, all of

a ciertos factores relevantes en combinación con medidas ergonómicas y el esfuerzo humano requerido para cada una de esas actividades, todo lo cual permite realizar una buena planeación mediante instrumentos de control que tiendan a mejorar dichas intervenciones (Malinovsky *et al.*, 2006; Björheden, 1991; Miyata *et al.*, 1981). La evaluación del aprovechamiento en las áreas forestales de la región de El Salto, Durango, es de suma importancia, dado que no existe información sobre tiempos y rendimientos; en este sentido, el objetivo del presente estudio es determinar los indicadores de productividad en las operaciones de derribo manual, arrastre y carga mecanizada, de tal forma que los resultados constituyan una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la programación de las actividades de extracción, así como para elevar la eficiencia y calidad de esta importante actividad económica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en bosques naturales de los ejidos El Brillante, La Victoria, San Pablo y La Campana del municipio de Pueblo Nuevo, Durango, los cuales forman parte de la región forestal de El Salto, que se localiza en el sistema montañoso denominado Sierra Madre Occidental. Las alturas sobre el nivel del mar fluctúan entre 1,400 y 2,600 metros. El clima es semi-húmedo templado o semi-frío, que se torna templado o semi-seco en el lado oriental de la sierra. Las especies predominantes son *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. ayacahuite*. La estructura del bosque es resultado de segundo y tercer crecimiento, y pueden verse en general dos doseles en el estrato arbóreo: ocupando los niveles más altos los pinos, cuya altura alcanzan un máximo de más de 20 metros, y los más bajos los encinos con diferentes especies del género *Quercus*. En el estrato inferior, los géneros más frecuentes son *Junniperus*, *Quercus* y *Arbutus* (UCODEFO 6, 1997). La pendiente promedio de las áreas estudiadas fue del 15 %. Las prácticas silvícolas utilizadas en los predios son las relativas al método de desarrollo silvícola (MDS) y variantes de selección.

Métodos y maquinaria de aprovechamiento usados en la región

El apeo o derribo de los árboles se realiza con motosierras; generalmente las trozas se cortan de 3.0 a 6.0 metros de largo y diámetro mínimo de 20.0 centímetros en caso de trocería para aserrado, y de 10.0 a 20.0 cm con longitudes de 1.22 a 2.44 m en la trocería para productos secundarios. El arrastre se hace con el apoyo de grúas mecánicas, skidder y tracción animal (bueyes de arrastre). La carga se realiza en forma manual y mediante grúas, las cuales son operadas por un equipo integrado por un motosierrista, dos cableros que enganchan y controlan el arrastre y carga de las trozas, un operador de grúa y un limpiabosques (Smartwood, 2004; 2005; 2006; 2007).

which allows for good planning by using control instruments designed to improve these interventions (Malinovsky *et al.*, 2006; Björheden, 1991; Miyata *et al.*, 1981). Assessment of timber harvesting operations in the forest areas in the El Salto region, Durango is of utmost importance, as there is no information available on times and productivity. In this regard, the aim of this study is to determine the productivity indicators in the manual felling, skidding and mechanized loading operations, so that the results can serve as a tool to support decision making in the planning of extraction activities and to increase the efficiency and quality of this important economic activity.

MATERIALS AND METHODS

Study area location

The study was conducted in natural forests in the ejidos El Brillante, La Victoria, San Pablo and La Campana in the municipality of Pueblo Nuevo, Durango, which are part of the El Salto forest region, located in the mountain range called Sierra Madre Occidental. Heights above sea level range between 1,400 and 2,600 meters. The climate is semi-humid temperate or semi-cold, which becomes temperate or semi-dry on the eastern side of the mountain range. The dominant species are *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. teocote* and *P. ayacahuite*. Forest structure is the result of second and third growth, and generally two canopies can be seen in the tree layer: pines, which can reach more than 20 meters in height, occupy the highest levels while oaks, with different species of the genus *Quercus*, occupy the lowest ones. In the bottom stratum, the most common genera are *Junniperus*, *Quercus* and *Arbutus* (UCODEFO 6, 1997). The average slope of the areas studied was 15 %. Silvicultural practices used on the tracts are those relating to the silvicultural development method (SDM) and variant selection.

Harvesting methods and machinery used in the region

The felling of trees is done with chainsaws. Usually the logs are cut from 3.0 to 6.0 meters long with a minimum diameter of 20.0 centimeters in the case of logs for sawing, and from 1.22 to 2.44 m long with a minimum diameter of 10.0 to 20.0 cm for logs used for secondary products. Skidding is done with the help of mechanical cranes, a skidder and draft animals (oxen used for pulling). Loading is done manually and with cranes, which are operated by a team including a chainsaw operator, two cable workers that choke and control the skidding and loading of the logs, a crane operator and a forest clean-up worker (SmartWood, 2004; 2005; 2006; 2007).

Evaluation of the timber harvesting process

For this study, harvesting operations were divided into the following work cycles:

Evaluación del proceso de aprovechamiento forestal

Para su estudio, las operaciones de aprovechamiento se dividieron en ciclos de trabajo como sigue:

Derribo

Arrastre mecanizado

Carga mecanizada

Los ciclos de trabajo se identificaron de acuerdo a Björheden (1991), obteniendo las siguientes actividades:

Tiempo Productivo: Se compone por tiempos principales de trabajo, complementarios, de soporte al trabajo, preparatorios y de servicio.

Derribo: (tiempo de planeación, desplazamiento entre árboles, remoción de obstáculos, derribo, desrame, troceo y tiempo de servicio a la motosierra).

Arrastre mecanizado: (desplazamiento a la troza, enganche, arrastre, desenganche, acomodo, amarre de gallos y tiempo de planeación).

Carga mecanizada: (acomodo del camión, acomodo del remolque, desplazamiento del camión, desplazamiento a las trozas, enganche y carga de las trozas, acomodo y amarre de la carga).

Tiempo improductivo: Se compone por los tiempos de disturbios, retrasos, descansos, alimentación e interferencias.

Derribo: (descanso del operador, bloqueo de la espada de la motosierra y de los árboles).

Arrastre mecanizado: (bloqueo de trozas y descansos de los operarios).

Carga mecanizada: (descansos de los operarios).

Tamaño de la muestra

Para estimar el número de ciclos de trabajo necesarios y alcanzar un error de muestreo del 10 % con una confiabilidad del 95 % en cada una de las actividades del proceso de aprovechamiento forestal, se realizó un muestreo de acuerdo con lo recomendado por Barnes (1968), para aplicar la siguiente expresión:

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{E^2}$$

Felling

Mechanized skidding

Mechanized loading

Work cycles were identified according to Björheden (1991), obtaining the following activities:

Utilized time: it consists of main, complementary, indirect, preparatory and service work times.

Felling: (planning time, moving between trees, obstacle removal, felling, delimiting, bucking and chainsaw servicing time).

Mechanized skidding: (moving to the log, choking, skidding, unchoking, accommodating and tying down the logs, and planning time).

Mechanized loading: (positioning the truck, positioning the trailer, moving the truck, shifting the logs, choking and loading the logs, positioning and securing the load).

Unutilized time: it consists of disturbances, delays, breaks, food times and interferences.

Felling: (operator breaks, blocking of the chainsaw guide bar and the trees).

Mechanized skidding: (blocking of logs and operator breaks)

Mechanized loading: (operator breaks)

Sample size

To estimate the number of work cycles necessary and achieve a sampling error of 10% with a reliability of 95% in each of the logging activities, a presampling was conducted as recommended by Barnes (1968), to apply the following expression:

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{E^2}$$

Where:

n = Number of observations required to estimate work cycle productivity.

t = t value, for a desired probability level (n-1) degrees of freedom

Donde:

n = Número de observaciones necesarias para estimar el rendimiento en los ciclos de trabajo.

t = Valor de t , para un nivel de probabilidad deseado ($n-1$) grados de libertad

CV = Coeficiente de variación en porcentaje

E = Error de muestreo, expresado en porcentaje

De acuerdo a lo anterior, el número de ciclos de trabajo se estimó como se muestra en el Cuadro 1.

La información de campo se colectó durante los años 2008 y 2009 en diversas áreas de corta de los ejidos bajo estudio. La distribución de los ciclos de trabajo fue como se indica en el Cuadro 2.

Tiempos y rendimientos

Los datos del rendimiento operacional se obtuvieron mediante un estudio de tiempos y movimientos de los ciclos de trabajo de las operaciones de aprovechamiento forestal. Para tal efecto se utilizó el método de “vuelta a cero” descrito por Villagómez y García (1986), el cual consiste en tomar el cronometraje de los diferentes ciclos de trabajo de inicio a fin y regresar el cronómetro a “cero” para iniciar el cronometraje de un nuevo ciclo de trabajo; la precisión de cronometraje fue de 1/100 de segundo. Para determinar el volumen de los árboles derribados fueron utilizados los modelos biométricos locales, mientras que para la cubicación de las trozas arrastradas y cargadas se utilizó la fórmula de Smalian (Husch *et al.*, 2003). Con los datos del tiempo y dimensiones de las trozas, fue posible estimar los rendimientos en metros cúbicos por hora de trabajo en cada etapa de las operaciones de aprovechamiento forestal mediante la siguiente ecuación (López *et al.*, 2005):

$$R(m^3 h^{-1}) = \frac{3600 \times v}{t}$$

Donde:

$R(m^3 h^{-1})$ = Rendimiento expresado en metros cúbicos por hora de trabajo

v = Volumen unitario del fuste (m^3)

t = Tiempo de trabajo (s)

Procesamiento de datos

Con lo anterior, se obtuvo información referente a:

Tiempos productivos e improductivos.

CUADRO 1. Ciclos de trabajo requeridos y colectados en las operaciones de aprovechamiento forestal.

TABLE 1. Work cycles required and observed in logging operations.

Ciclo de trabajo	Ciclos requeridos (n)	Ciclos colectados (n)	Error de muestreo (%)
Derribo	294	704	6.46
Arrastre mecanizado	420	900	6.83
Carga mecanizada	394	1294	5.51

CV = coefficient of variation, expressed as a percentage

E = Sampling error, expressed as a percentage

Based on the above, the number of work cycles was estimated as shown in Table 1.

The field data was collected during the years 2008 and 2009 in various cutting areas in the ejidos under study. The distribution of the work cycles was as shown in Table 2.

Times and productivity

Operational productivity data were obtained by a time and motion study of the work cycles of each forest harvesting operation. To this end, the “back to zero” method described by Villagómez and García (1986) was used, which consists of timing the different work cycles from start to finish and then returning the stopwatch to «zero» to start timing a new work cycle. Timing precision was 1/100 of a second. To determine the volume of the trees felled, local biometric models were used, while for the scaling of the logs skidded and loaded, Smalian’s formula was used (Husch *et al.*, 2003). With the time and log dimension data, it was possible to estimate productivity in cubic meters per hour for each logging operation stage by using the following equation (Lee *et al.*, 2005):

$$R(m^3 h^{-1}) = \frac{3600 \times v}{t}$$

Where:

$R(m^3 h^{-1})$ = Productivity expressed in cubic meters per hour of work

v = Unit volume of stem (m^3)

t = Work time (s)

Data Processing

With the above, information was obtained concerning:

Utilized and unutilized times.

CUADRO 2. Distribución de los ciclos de trabajo por ejido.

TABLE 2. Distribution of work cycles per ejido.

Ciclo de trabajo	El Brillante	La Victoria	La Campana	San Pablo	Total
Derribo	113	282	167	142	704
Arrastre mecanizado	146	323	254	177	900
Carga mecanizada	306	257	401	330	1294

TABLE 3. Times and overall productivity in the manual felling cycle.

CUADRO 3. Tiempos y rendimientos generales en el ciclo de derribo manual.

Variable	Ciclos (n)	Media	Desv Std	Máximo	Mínimo
Características del arbolado derribado					
Diámetro normal (m)		0.36	0.11	0.72	0.15
Altura total (m)	704	19.08	4.83	33.14	4.87
Volumen (m ³)		1.22	0.96	5.56	0.09
Distancia entre árboles (m)		24.56	20.19	190.00	3.00
Tiempo productivo (min)					

Tiempos totales por ciclo de trabajo.

Total time per work cycle.

Rendimiento en m³ por hora de trabajo.

Productivity in m³ per hour of work.

Análisis estadístico

Statistical analysis

Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre tiempos y rendimientos promedio por categorías de diámetro, altura y distancias, se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan a un nivel de significancia de 0.05. El proceso del análisis de datos se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) Versión 9.1.

To evaluate the existence of significant differences between times and average productivity by categories of diameter, height and distance, Duncan's multiple comparison test was performed at a significance level of 0.05. Data analysis was performed using the SAS (Statistical Analysis System) statistical package, Version 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Derribo manual

El Cuadro 3 muestra el rendimiento del ciclo de derribo manual con valores de 0.89 a 185.21 m³·h⁻¹ y un promedio de 28.67 m³·h⁻¹; la duración del ciclo de trabajo se estableció entre 0.19 a y 34.18 minutos y un promedio de 3.49 minutos, de los cuales el 96 % del tiempo pertenece al tiempo productivo. Estos valores fueron influidos por la existencia de diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre categorías diamétricas, de altura de los árboles y por la distancia entre los árboles a derribar. De lo anterior, los rendimientos en el derribo varían desde 16.70 m³·h⁻¹ en árboles con diámetros normales entre los 15 y 20 cm hasta 64.14 m³·h⁻¹ en arbolado con diámetros mayores a 60 cm, con una duración por ciclo de derribo de 1.72 a 8.10 minutos (Cuadro 4). La altura de los árboles es un factor que afecta el rendimiento del derribo manual, pues en árboles con alturas de 4 a 10 m el rendimiento es de 7.85 m³·h⁻¹, mientras que en árboles con alturas mayores a 20 m, el rendimiento es del orden de los 35 m³·h⁻¹ en ciclos de trabajo de 2.10 a 4.67 minutos. En lo que respecta a la influencia que tiene la distancia entre árboles a derribar,

RESULTS AND DISCUSSION

Manual felling

Table 3 shows the productivity of the manual felling cycle with values from 0.89 to 185.21 m³·h⁻¹ and an average of 28.67 m³·h⁻¹. Duration of the work cycle was between 0.19 and 34.18 minutes and averaged 3.49 minutes, of which 96% of the time belongs to utilized time. These values were influenced by the existence of significant differences ($P \leq 0.05$) among the categories of diameter, tree height and distance between trees to be felled. Based on the above, felling productivity ranges from 16.70 m³·h⁻¹ in trees with normal diameters between 15 and 20 cm to 64.14 m³·h⁻¹ in trees with diameters greater than 60 cm, with a felling cycle time from 1.72 to 8.10 minutes (Table 4). Tree height affects manual felling productivity, since in trees with heights from 4 to 10 m productivity is 7.85 m³·h⁻¹, whereas in trees with heights greater than 20 m, productivity is on the order of 35 m³·h⁻¹ in work cycles from 2.10 to 4.67 minutes. Regarding the influence of the distance between trees to be felled, the results showed average productivity of 28 m³·h⁻¹ at distances between trees from 3.0 to 60.0 m, while for distances greater than 60.0 m, productivity was

CUADRO 4. Tiempos y rendimientos del derribo por categorías de diámetro, altura y distancias entre árboles.
TABLE 4. Felling times and productivity by categories of diameter, height and distances between trees.

Categoría	Ciclos (n)	Tiempo productivo (min)	Tiempo improductivo (min)	Tiempo total (min)	Rendimiento (m ³ h ⁻¹)
Por categoría diamétrica del arbolado (cm)					
15-20	45	1.69 e	0.02 b	1.72 d	16.70 c
20.1-30	203	1.78 e	0.14 b	1.91 d	22.90 c
30.1-40	229	3.22 d	0.20 b	3.42 c	24.85 c
40.1-50	158	4.52 c	0.29 b	4.81 b	37.06 b
50.1-60	53	5.99 b	0.01 b	6.00 b	41.77 b
>60.1	16	7.17 a	0.93 a	8.10 a	64.14 a
Por categoría de altura del arbolado (m)					
4-10	34	2.10 b	0.00 a	2.10 b	7.85 c
10.1-20	356	2.53 b	0.04 a	2.57 b	24.89 b
>20.1	314	4.29 a	0.38 a	4.67 a	35.21 a
Por distancia entre árboles por derribar (m)					
3-20	383	2.77 c	0.17 a	2.94 c	29.56 a
20.1-40	197	3.28 c	0.23 a	3.51 cb	31.82 a
40.1-60	110	4.63 b	0.21 a	4.84 b	21.79 ab
>60.1	14	7.41 a	0.18 a	7.59 a	14.07 b

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Duncan a una $P \leq 0.05$

* Means with the same letter are not significantly different according to Duncan's test at $P \leq 0.05$

los resultados mostraron un rendimiento promedio de 28 m³·h⁻¹ en distancias entre árboles de 3.0 a 60.0 m, mientras que para distancias mayores a los 60.0 m, el rendimiento se redujo hasta los 14 m³·h⁻¹. La duración de los ciclos de trabajo se estableció de 2.94 a 7.59 minutos.

Wang *et al.* (2004) estimaron el ciclo de derribo manual en bosques de los Apalaches en West, Virginia (EUA), compuesto por *Quercus rubra*, *Betula lenta*, *Acer rubrum*, *Acer saccharum*, *Tilia americana* y *Quercus prinus*, en un tiempo de 1.08 a 18.12 minutos, estableciéndose el promedio en 4.57 minutos para árboles con diámetros de 20 a 142 cm, con promedio de 40 cm y alturas de 2.4 a 17.0 m, con promedio de 9.0 m; distancia entre árboles de 1 a 34 m, con promedio de 10.0 m y volúmenes por árbol de 0.07 a 3.11 m³, con promedio de 0.77 m³; el rendimiento en el derribo fue de 1.67 a 34.74 m³·h⁻¹ con un promedio de 10.25 m³·h⁻¹. El ciclo de derribo fue 24 % menor en los bosques de El Salto, así como 37 % mayor el volumen por árbol derribado, lo que explica parte de las diferencias en los rendimientos de ambos estudios.

Arrastre mecanizado

En el Cuadro 5 se observan los rendimientos generales del ciclo de arrastre mecanizado con grúa y skidder, los cuales se establecieron entre 0.60 y 166 m³·h⁻¹ con un promedio de 19.83 m³·h⁻¹. La distancia promedio de arrastre fue de 43.0 m con valores extremos de 10.0 a 150.0

reduced to 14 m³·h⁻¹. Duration of work cycles was from 2.94 to 7.59 minutes.

Wang *et al.* (2004) estimated the manual felling cycle time in an Appalachian forest in West Virginia (USA), composed of *Quercus rubra*, *Betula lenta*, *Acer rubrum*, *Acer saccharum*, *Tilia americana* and *Quercus prinus*, at 1.08 to 18.12 minutes, averaging 4.57 minutes for trees with diameters from 20 to 142 cm, with an average of 40 cm, and with heights from 2.4 to 17.0 m, averaging 9.0 m. Distance between trees was from 1 to 34 m, averaging 10.0 m and volumes per tree from 0.07 to 3.11 m³, averaging 0.77 m³. Felling productivity was from 1.67 to 34.74 m³·h⁻¹ with an average of 10.25 m³·h⁻¹. The felling cycle was 24% lower in the El Salto forests with 37% more volume per tree felled, which explains some of the differences in productivity between the two studies.

Mechanized skidding

Table 5 shows the overall productivity of the mechanized skidding cycle with a crane and skidder, which was between 0.60 and 166 m³·h⁻¹ with an average of 19.83 m³·h⁻¹. Average skidding distance was 43.0 m with widely-ranging values from 10.0 to 150.0 m with an average skidding cycle time of 2.71 minutes, of which 90% corresponded to utilized time. However, the mechanized skidding cycle times and productivity were also influenced by the different categories of log diameter, length and

CUADRO 5. Tiempos y rendimientos generales en el ciclo de arrastre mecanizado.**TABLE 5. Mechanized skidding cycle times and overall productivity.**

Variable	Ciclos (n)	Media	Desv Std	Máximo	Mínimo
Características de las trozas arrastradas					
Diámetro menor (m)		0.27	0.13	0.78	0.10
Diámetro mayor (m)		0.37	0.13	0.90	0.15
Largo del trozo (m)	900	6.53	3.04	20.12	4.88
Volumen (m ³)		0.56	0.42	3.04	0.06
Distancia de arrastre (m)		43.13	32.30	150.00	10.00
Tiempo productivo (min)					
Desplazamiento a la troza		0.71	0.48	3.16	0.02
Enganche de la troza		0.29	0.29	2.32	0.01
Arrastre de la troza		1.25	1.60	13.05	0.02
Desenganche de la troza	900	0.07	0.05	0.35	0.00
Acomodo de las trozas		0.06	0.61	16.29	0.00
Amarre de gallos		0.05	0.65	16.29	0.00
Tiempo de planeación		0.02	0.21	4.60	0.00
Tiempo improductivo (min)					
Atoramientos de las trozas	900	0.26	0.96	13.22	0.00
Descanso de los trabajadores		0.01	0.13	2.87	0.00
Indicadores de productividad en la operación de arrastre mecanizado					
Tiempo productivo (min)		2.45	2.15	22.36	0.14
Tiempo improductivo (min)	900	0.26	0.96	13.22	0.00
Tiempo total del ciclo de trabajo (min)		2.71	2.61	27.12	0.14
Rendimiento (m ³ ·h ⁻¹)		19.83	20.22	166.33	0.60

m y una duración por ciclo de arrastre de 2.71 minutos de los cuales el 90 % correspondió al tiempo productivo. Sin embargo, los tiempos y rendimientos en el ciclo de arrastre mecanizado también fueron influidos por las diferentes categorías de diámetro, longitud y la distancia de arrastre de las trozas al mostrar diferencias significativas ($p \leq 0.05$). En ese sentido, se encontraron rendimientos en el arrastre mecanizado de $10.92 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ para trozas de 13 a 20 cm de diámetro promedio y $43.07 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ en trozas mayores a 60 cm, con duración de los ciclos de trabajo de 1.99 a 3.89 minutos (Cuadro 6). La longitud de las trozas influyó en el rendimiento de arrastre, de tal forma que es posible obtener rendimientos de $17 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ en arrastre de trocería de 4 a 6 m de largo y $35.31 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ en trozas mayores a 12 m de largo. La duración de los ciclos de arrastre en este caso oscilaron entre los 2.18 y 2.94 minutos. Se observó un decremento en el rendimiento a medida que crece la distancia de arrastre, por lo que para distancias de 10.0 a 20.0 m corresponde un rendimiento de $28.58 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ y para distancias mayores a 100 m el rendimiento se reduce hasta los $10.80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Wang *et al.* (2004) determinaron un tiempo de 5.80 a 29.56 minutos por ciclo de arrastre, estableciéndose el promedio en 21.75 minutos para trozas de 24 a 53 cm de diámetro (promedio de 37 cm) con largo de 5.5 a 14.6 m

skidding distance, showing significant differences ($p \leq 0.05$). In this regard, mechanized skidding productivity was $10.92 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ for logs from 13 to 20 cm average diameter and $43.07 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ for logs over 60 cm, with work cycle times from 1.99 to 3.89 minutes (Table 6). Log length influenced skidding productivity, so that it is possible to obtain productivity of $17 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ in skidding logs from 4 to 6 m long and $35.31 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ for logs over 12 m long. Skidding cycle times in this case ranged from 2.18 to 2.94 minutes. A decrease in productivity was observed as the skidding distance increased, so that for distances from 10.0 to 20.0 m productivity was $28.58 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ and for distances greater than 100 m productivity was reduced to $10.80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Wang *et al.* (2004) determined a time of 5.80 to 29.56 minutes per skidding cycle, averaging 21.75 minutes for logs from 24 to 53 cm in diameter (average 37 cm), with length from 5.5 to 14.6 m (average 9.3 m), volume from 0.82 to 4.81 m^3 (average 2.95 m^3), skidding distance from 15.24 to 1,219.0 m (average 754.0 m) and skidding productivity from 2.26 to $13.36 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (average $8.18 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). Compared with the results obtained in the El Salto region forests, the duration of the skidding cycle was 88 % less, which is explained by the fact that the skidding distance was 94 % less than in the Appalachian hardwood forests. And although the volume skidded per cycle was 81 % higher in those forests, mechanized skidding productivity was 57 % higher in Durango.

CUADRO 6. Tiempos y rendimientos del arrastre por categorías de diámetro, largo y distancias de arrastre.**TABLE 6. Skidding times and productivity by categories of diameter, length and skidding distances.**

Categoría	Ciclos (n)	Tiempo productivo (min)	Tiempo improductivo (min)	Tiempo total (min)	Rendimiento (m ³ h ⁻¹)
Por el diámetro promedio de las trozas (cm)					
13-20	183	1.80 d	0.19 b	1.99 c	10.92 d
20.1-30	257	2.19 cd	0.32 b	2.52 bc	15.71 cd
30.1-40	248	2.85 bc	0.24 b	3.09 ab	19.50 c
40.1-50	136	2.56 bc	0.11 b	2.67 bc	31.25 b
50.1-60	50	3.10 b	0.84 a	3.95 a	32.09 b
>60.1	26	3.82 a	0.07 b	3.89 a	43.07 a
Por el largo de las trozas (m)					
4-6	604	2.69 a	0.25 a	2.94 a	16.99 c
6.1-7.0	76	2.01 b	0.36 a	2.37 ab	23.27 b
7.1-12	149	1.95 b	0.25 a	2.20 b	22.19 b
>12.1	71	1.89 b	0.29 a	2.18 b	35.31 a
Por la distancia de arrastre (m)					
10-20	280	1.56 d	0.13 b	1.69 d	28.58 a
20.1-40	252	2.27 c	0.36 ab	2.64 c	19.87 b
40.1-60	169	2.68 c	0.26 ab	2.94 c	15.55 bc
60.1-80	83	3.57 b	0.29 ab	3.86 b	10.41 c
80.1-100	63	3.53 b	0.16 b	3.70 b	12.25 c
>100.1	53	4.17 a	0.55 a	4.72 a	10.80 c

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Duncan a una $P \leq 0.05$

*Means with the same letter are not significantly different according to Duncan's test at $P \leq 0.05$

(promedio de 9.3 m), volumen de 0.82 a 4.81 m³ (promedio de 2.95 m³), distancia de arrastre de 15.24 a 1,219.0 m (promedio de 754.0 m) y rendimientos de arrastre de 2.26 a 13.36 m³·h⁻¹ (promedio de 8.18 m³·h⁻¹). En comparación con los resultados obtenidos en los bosques de la región de El Salto, la duración del ciclo de arrastre fue 88 % menor, lo cual se explica por que la distancia de arrastre resultó menor en 94 % a la registrada en los bosques de hojosas de los Apalaches; y aunque el volumen arrastrado por ciclo fue 81 % mayor en esos bosques, el rendimiento del arrastre mecanizado resultó ser 57 % mayor en Durango.

Carga mecanizada

El Cuadro 7 contiene los resultados generales del ciclo de carga mecanizada cuyos rendimientos fluctuaron entre 0.03 y 332.27 m³·h⁻¹, estableciéndose el promedio en 35.27 m³·h⁻¹. La duración del ciclo de carga fue de 2.80 minutos, con valores extremos de 256.08 hasta 0.07 minutos, de los cuales el 100 % correspondió al tiempo productivo. Las variables que influyeron en el rendimiento de la carga mecanizada al observar diferencias significativas ($P \leq 0.05$), fueron las categorías diamétricas y la longitud de las trozas. El aumento en el diámetro promedio de las trozas mostró un incremento en el rendimiento de la operación de carga, por lo que para trozas con diámetros entre los 13 a 20 cm

Mechanized loading

Table 7 contains the overall results of the mechanized loading cycle whose productivity fluctuated between 0.03 and 332.27 m³·h⁻¹ and averaged 35.27 m³·h⁻¹. Duration of the loading cycle was 2.80 minutes, with values ranging from 256.08 to 0.07 minutes, which corresponded to 100% utilized time. Variables that influenced mechanical loading productivity resulting in significant differences ($P \leq 0.05$) were the diameter categories and log length. The increase in the average diameter of the logs resulted in an increase in loading operation productivity, so that for logs with diameters between 13 and 20 cm productivity was 10.44 m³·h⁻¹, while for logs with diameters greater than 60 cm, loading productivity was on the order of 130 m³·h⁻¹ (Table 8). With respect to log length, the trend was that as log length increases, loading productivity decreases because more time is required to perform the crane maneuvers necessary to accommodate the logs on the truck, so that for logs from 4 to 6 m long, loading productivity is 41.48 m³·h⁻¹ and for logs over 12 m long productivity is reduced to 17 m³·h⁻¹.

Mousavi (2009) reports that for forests in northern Iran, consisting of *Fagus orientalis*, *Carpinus betulus*, *Alnus subcordata* and *Acer platanoides*, productivity was from 27.3 to 34.0 m³ per actual hour of work with logs from 5.2 to 7.8 m long, values that match those obtained in this study for logs from 6.1 to 7.0 m long.

CUADRO 7. Tiempos y rendimientos generales en el ciclo de carga mecanizada.
TABLE 7. Mechanized loading cycle times and overall productivity

Variable	Ciclos (n)	Media	Desv Std	Máximo	Mínimo
Características de las trozas cargadas					
Diámetro menor (m)		0.27	0.11	0.65	0.08
Diámetro mayor (m)		0.35	0.12	0.82	0.10
Largo del trozo (m)	1294	5.97	1.79	13.41	4.00
Volumen (m ³)		0.49	0.34	2.16	0.03
Distancia de carga (m)		13.94	15.34	50.00	1.00
Tiempo productivo (min)					
Acomodo del camión		0.10	0.54	7.78	0.00
Acomodo del remolque		0.03	0.31	4.67	0.00
Desplazamiento del camión		1.46	13.96	250.00	0.00
Desplazamiento a las trozas	1294	0.19	0.18	2.56	0.01
Enganche y carga de trozas		0.80	0.71	10.21	0.02
Acomodo de carga		0.08	0.33	5.32	0.00
Amarre de carga		0.14	0.92	11.41	0.00
Tiempo improductivo (min)					
Descanso de los trabajadores	1294	--	--	--	--
Indicadores de productividad en la operación de carga mecanizada					
Tiempo productivo (min)		2.80	14.38	256.08	0.07
Tiempo improductivo (min)	1294	--	--	--	--
Tiempo total del ciclo de trabajo (min)		2.80	14.38	256.08	0.07
Rendimiento (m ³ h ⁻¹)		35.27	34.79	332.27	0.03

CUADRO 8. Tiempos y rendimientos de la carga por categorías de diámetro y largo de las trozas.
TABLE 8. Loading times and productivity by diameter and log length categories.

Categoría	Ciclos (n)	Tiempo productivo (min)	Tiempo improductivo (min)	Tiempo total (min)	Rendimiento (m ³ h ⁻¹)
Por el diámetro promedio de las trozas (cm)					
13-20	247	4.34 a	--	4.34 a	10.48 f
20.1-30	432	2.42 a	--	2.42 a	25.91 e
30.1-40	364	2.27 a	--	2.27 a	40.91 d
40.1-50	178	3.09 a	--	3.09 a	59.75 c
50.1-60	58	1.97 a	--	1.97 a	75.51 b
>60.1	15	1.22 a	--	1.22 a	130.04 a
Por el largo de las trozas (m)					
4-6	806	1.62 c	--	1.62 c	41.48 a
6.1-7.0	257	2.69 bc	--	2.69 bc	30.99 b
7.1-12	199	6.19 b	--	6.19 b	18.58 c
>12.1	32	12.51 a	--	12.51 a	17.15 c

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Duncan a una $P \leq 0.05$

*Means with the same letter are not significantly different according to Duncan's test at $P \leq 0.05$

corresponde un rendimiento de $10.44 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, mientras que para trozas con diámetros mayores a 60 cm, el rendimiento de carga es del orden de los $130 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Cuadro 8). En lo que respecta a la longitud de las trozas, la tendencia observada fue que a medida que aumenta el largo de las trozas disminuye el rendimiento de carga, debido a que se requiere de mayor tiempo para realizar las maniobras con la grúa para acomodar las trozas en el camión; de tal forma que para trozas entre los 4 a 6 m de largo, el rendimiento de carga es de $41.48 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ y para trozas mayores a 12 m de largo el rendimiento se reduce hasta $17 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Mousavi (2009) reporta para bosques del norte de Irán, compuestos por *Fagus orientalis*, *Carpinus betulus*, *Alnus subcordata* y *Aacer platanoides*, rendimientos de 27.3 a 34.0 m^3 por hora efectiva de trabajo en trozas de 5.2 a 7.8 de largo, valores que coinciden con los obtenidos en el presente estudio para trozas de 6.1 a 7.0 m de largo.

CONCLUSIONES

Los indicadores de productividad por categorías de diámetro, de altura de los árboles, largo de las trozas y distancias de trabajo que se estimaron en el presente estudio, representan una herramienta para mejorar la planeación de máquinas, insumos y mano de obra necesarias en las actividades de aprovechamiento forestal de la región de El Salto, Durango, con lo cual se busca contribuir a elevar la calidad y competitividad de la actividad forestal.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST) y a la Fundación Produce Durango, A. C., por el financiamiento brindado a los proyectos. 566.07-P "Evaluación Operacional, Biométrica y Ambiental del Aprovechamiento Forestal en la región de El Salto, Durango" y 10-2007-0452 "Evaluación Integral del Proceso Productivo Maderable", de los cuales se generó el presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- BARNES, R. 1968. Motion and time study: design and measurement of work. 6ª Ed. John Wiley & Sons. New York. USA. 799 p.
- BJÖRHEDEN, R. 1991. Basic time concepts for international comparisons of time study reports. International Journal of Forest Engineering. 2(2): 33-39.
- DE OLIVEIRA, R. J.; MACHADO, C. C.; DE SOUZA, A. P.; LEITE, H. G. 2006. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto con "Clambunk Skidder". Árvore. 30(2): 267-275.
- HUSCH, B.; MILLER, C.; BEERS, T. 2003. Forest mensuration. 4th Ed. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, USA. 443 p.
- LÓPEZ, S. E.; AMBROSIO Y. T.; VIGNOTE, P. S. 2005. Tiempos y rendi-

CONCLUSIONS

Productivity indicators by categories of diameter, tree height, log length and work distances estimated in this study represent a tool to improve planning related to machines, supplies and labor needed in forest harvesting activities in the El Salto region of Durango, thus helping increase the quality and competitiveness of the forestry activity.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Head Office of Higher Technological Education (known by the acronym DGEST in Mexico) and Fundación Produce Durango, A. C., for the funding provided to projects 566.07-P "Operational, Biometric and Environmental Assessment of Forest Harvesting in the region of El Salto, Durango" and 10-2007-0452 "Comprehensive Assessment of the Timber Producing Process", from which this work was generated.

End of English Version

mientos de dos sistemas de aprovechamiento de madera de *Populus* sp. en Castilla-León (España). Ciencia Forestal en México. 31(99): 73-91.

- MALINOVSKY, R. A.; MALINOVSKY, R.; MALINOVSKY, J. R.; YAMAJI, F. M. 2006. Analise das variaveis de influencia na produtividade das máquinas de colheita da madeira em função das características físicas do terreno, do pavimento e do planejamento operacional florestal. Floresta 36(2): 169-182.
- MIYATA, E. S.; STEINHILB, H. M.; WINSAUER, S. A. 1981. Application of work sampling technique to analyze logging operations. Research Paper NC-213. USDA, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 11 p.
- MOUSAVI, R. 2009. Comparison of productivity, cost and environmental impacts of two harvesting methods in Northern Iran: short-log vs. long-log. Academic Dissertation. Faculty of Forest Sciences, University of Joensuu, Finland. 93 p.
- SAS INSTITUTE. 2002. SAS User's Guide: Statistics. Ver. 9.1. SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA. 1028 p.
- SMARTWOOD. 2004. Resumen Público de Certificación del Ejido San Pablo. Certificado SW-FM/COC-218. 38 p.
- SMARTWOOD. 2005. Resumen Público de Certificación del Ejido El Brillante. Certificado SW-FM/COC1256. 37 p.
- SMARTWOOD. 2006. Resumen Público de Certificación del Ejido La Victoria. Certificado SW-FM/COC154. 25 p.
- SMARTWOOD. 2007. Resumen Público de Certificación del Ejido La Campana. Certificado SW-FM/COC-1158. 14 p.
- UCODEFO 6. 1997. Memoria general de predios del programa de manejo forestal 1997-2007. El Salto, Durango, México. 207 p.
- VILLAGÓMEZ, L. M.; GARCÍA, A. D. 1986. El estudio de trabajo y su aplicación en las operaciones de abastecimiento forestal. Ciencia Forestal en México. 59(11):162-180.
- WANG, J.; LONG, CH.; MCNEEL, J.; BAUMGRAS, J. 2004. Productivity and cost of manual felling and cable skidding in central Appalachian hardwood forests. Forest Products Journal. 54(12): 45-51.